

II-178 交流半波電圧による固体有機絶縁体中の トリー性状

工 藤 勝 利
西 山 栄 枝

Treeing Characteristics of Organic Insulating Materials under AC half-rectified Voltage

Katsutoshi KUDO
Sakae NISHIYAMA

ABSTRACT

This paper reports the treeing characteristics of organic insulating materials using 50 Hz half-rectified voltage at the range from liquid nitrogen temperature to +120°C.

In case of AC half-rectified voltage, it was found that the tree characteristics were considerably different from those produced by AC voltage.

1 まえがき

近年、高分子材料の進歩に伴い、有機材料が電気絶縁体として多方面に使用されている。有機絶縁体はすぐれた性質を持っているにもかかわらず、不平等電界のもとでは容易に部分破壊が引き起こされる場合があり、最終的には貫通破壊に至る。

部分破壊である“トリー”あるいは“トリーイング”は単に実用上の問題ばかりではなく、広く絶縁体の破壊メカニズムの面からも興味ある問題を含んでいる。1951年、Mason氏は気中放電の集中により放電孔を形成し、その先端からトリーが伸びる可能性を指摘した⁽¹⁾。その後、Kitchin氏は高圧用ポリエチレンケーブルにおいてトリーの発生を確認したのが端緒となり⁽²⁾、絶縁破壊の前駆現象としてのトリーが注目を集めるようになった。トリー性状はいろいろの観点から調査、研究がなされ、そのメカニズムについてはある程度解明されてはいるが、種々不明な点も多い。筆者らは広い範囲に温度を変化させ、交流およびインパルス電圧を印加した際のトリー性状についてはいままでに発表してきた⁽³⁾。

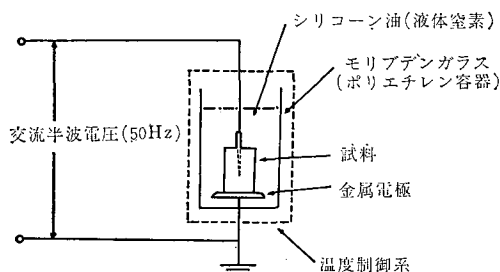
今回、これに引き続き交流半波電圧を印加した場合のトリー性状の温度依存性を調査したので報告する。

2 試料および実験方法

<2. 1> 供試料 試料としてはメルトインデックス(MI) 1, 26の低密度ポリエチレン(以下PEと略称)、ポリメチルメタアクリレート(他下PMMAと略称)の2種類を用い、寸法は5~10×12×25mmのブロックである。針電極はNo.2のメリケン針(約1mmφ、長さ約37mm)であり、針先端の角度が30°、曲率半径約5μmになるように回転研摩機で研摩してある。試料は針電極そう入固定ジグに取り付けられ、恒温そう内で加熱(PEは100°C、PMMAは160°Cでそれぞれ30分間)して針電極をそう入し、そのままの状態で常温まで徐冷してある。また、針の付け根はエポキシ系樹脂接着剤で固めてある。また、平板電極に接する試料面はすべて銀ペイントを塗付した。一方、針電極から平板電極までのギャップ長は10(±0.5)mmとした。

<2. 2> 実験方法 第1図に実験装置の概図を示す。電極系は針対平板直接接地方式であり、針電極側に高圧を印加した。使用した交流半波電圧は交流50Hzを半波整流したものである。常温での実験はモリブデンガラス容器にシリコン油を満たし、その中に試料を浸せきして行なった。温度制御する場合は、

モリブデンガラス容器の周囲を高温潤滑油（高温用）、氷（0℃）、氷+NH₄Cl+NaNO₃（-20℃ 付近）、ドライアイス+エチルアルコール（-60℃ 付近）などでそれぞれ充てんしたが、しかしいずれの温度の場合でも、試料自体はシリコン油中に浸せきされている。ただし、液体窒素の温度にする際は断熱ひふくを施したポリエチレン容器に液体窒素を満たし、その中に試料を直接浸せきした。いずれの場合も温度を規定値に保った後、試料を全面浸せきし、10分間経過してから電圧を印加した。なおトリーの観察は最大倍率120倍の顕微鏡で行ない、針の中心軸方向に20μm程度まで伸びたものをトリーの発生とした。



第1図 実験装置の概図

＜2. 3＞ 特性電圧の測定 50%トリー発生電圧、すなわち特性電圧を求める場合はあらかじめトリーの発生する電圧の見当をつけておき、その付近の電圧を選んで、交流半波電圧の際は10分間課電、1kv段階昇圧で決定する。なお、各温度とも10個の試料を用いて特性電圧を決定する。

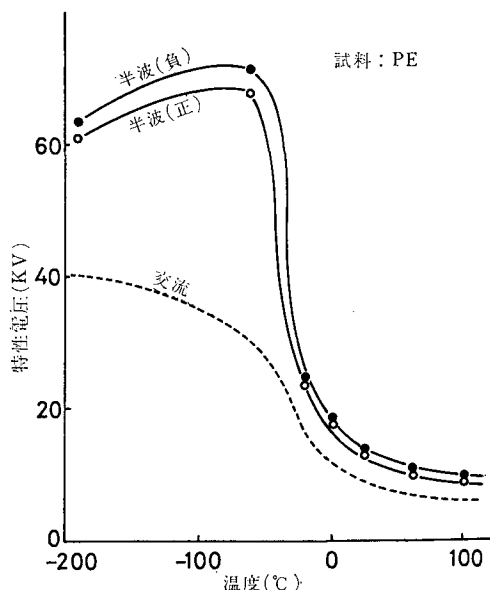
3 実験結果とその考察

＜3. 1＞ 特性電圧の温度依存性 第2図および第3図はそれぞれPE、PMMAについての特性電圧の変化を示したものである。比較のために、前回⁽³⁾で報告した交流電圧印加の際の特性電圧も示した。PEとPMMAでは特性電圧の温度依存性はかなり相異が認められ、PEは著しく温度に依存していることがわかる。これらの結果から特性電圧の一般的な傾向を列挙してみると、

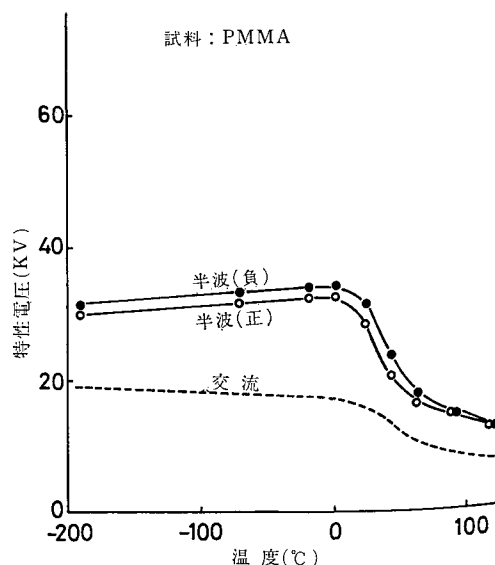
- (i) 交流半波値での極性差は比較的少ない。
- (ii) 交流半波値と交流値とは同じ傾向であり、ある温度領域で急激に変化している。
- (iii) 低温領域では交流半波値は交流値よりもかなり高い値を示している。

交流半波値では低温領域において、わずかに極性差がみられる程度であり、高温領域ではほとんど差異を示さない。Dittmer氏は常温で数発までの交流半波電圧を用いて実験を行っており、一発の交流半波電圧

の場合、負極性の方がかなり高い電圧でトリーが発生することを指摘している⁽⁴⁾。筆者らは交流半波値を求める際に交流値との比較もあって、10分間課電する方法を採用したが、Dittmer氏の結果を合せて考えると、数発までの短時間課電では正負両極性の半波電圧では極性差を生ずるが、筆者らの行なった長時間課電では極性差はなくなるものと思われる。すなわち交流半波電圧がくり返し印加されるうちに、正および負電極の針端周辺に空間電荷が形成され、両者の実効電界がほ



第2図 PEの特性電圧（波高値）の温度依存性



第3図 PMMAの特性電圧（波高値）の温度依存性

等しくなるものと考えられる。

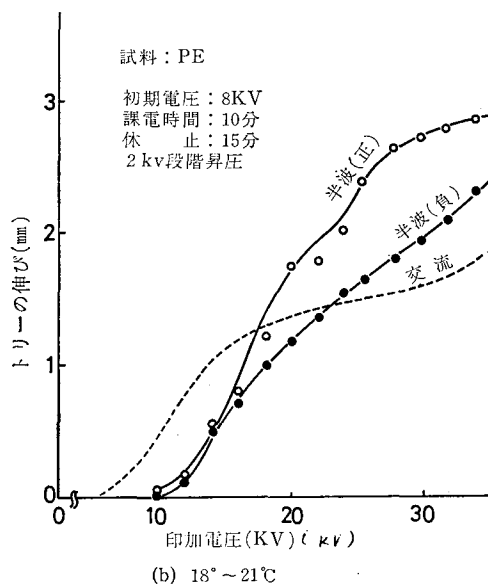
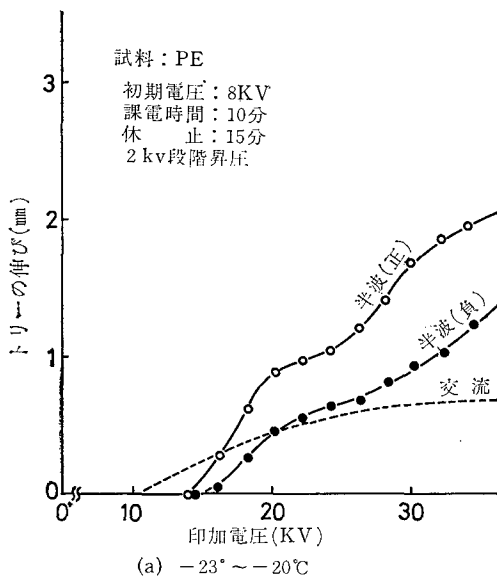
ところで、PEは交流半波値、交流値とも材料のガラス転移に相当する温度領域で急激に変化しているが、PMMAについてはそのガラス転移温度よりもかなり低い温度領域で変化している。PMMAの40°C付近における変化については、筆者らはNMR（核磁気共鳴吸収）の結果より、PMMA材料自体に吸収された水分の影響であるとの推定をくださった⁽³⁾。従来のフィルム状試料の絶縁破壊に関しても40°C付近から絶縁強度が急激に低下してゆくことが認められているが、Artbauer氏はこの現象を分子の緩和現象と自由体積から説明を試みており、絶縁破壊と分子運動が密接に関係していることを指摘している⁽⁵⁾。トリーのような局部絶縁破壊においても分子運動に立脚した分子の緩和現象と自由体積から考察することが可能と思われる。ただこの場合においては電圧課電時間が問題である。たとえば前報においても述べたようにインパルス電圧印加した際の特性電圧が、交流値および交流半波値の急激に変化する温度領域で、それほど急激には変化していない事実は、短時間課電される段階では分子運動とは密接に関係せずにトリーが発生するようにも推察される。

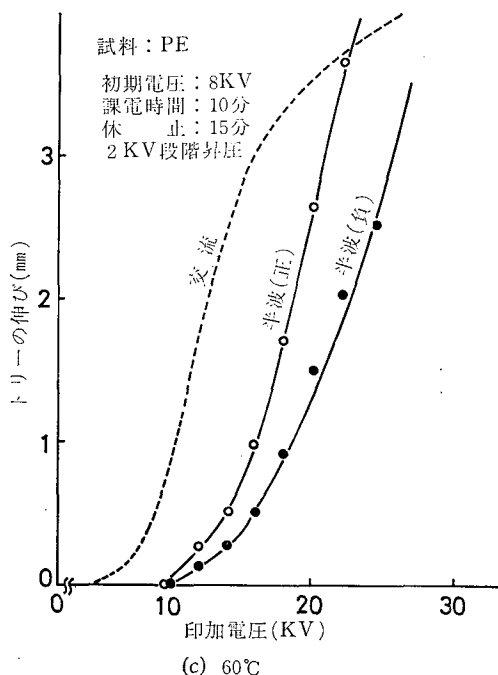
ところで、Dittmer氏はPMMA試料を用い、いろいろの波頭しゅん度で実験を行ない、立ち上がりが急しゅんなほどトリー発生電圧が低い事実を報告している⁽⁶⁾。この原因を空間電荷効果に帰しており、空間電荷を形成するにはある時間を要するから立ち上がりが急しゅんなほど空間電荷の蓄積が形成されにくく、したがってトリーは発生しやすくなるとしている。本実験における交流半波値は課電時間が相当長いにもかかわらず、低温領域で高い特性値を示している結果は空間電荷効果によると考えるのが妥当であろう。また、高温領域においては、課電時間が長い交流波形の特性電圧が低下しているが、これは空間電荷効果に加えて針端付近における加熱効果が大になることも考えられる。

＜3. 2＞ トリーの進展 交流電圧は交互に極性をかえながら連続的に印加されている状態であり、したがってそのトリー進展メカニズムはかなり複雑になっていることが考えられる。その点交流半波電圧は単極性であり、かつ間欠印加の状態であるために、交流電圧印加の際のトリー進展メカニズムを考察する上でなんらかの知識を与えてくれるものと思われる。本実験は段階昇圧方式であり、初期電圧8kv、課電時間10分、休止15分、2kv段階昇圧で行なった。実験は各温度で5個の試料について行ないその平均値を用いた。

なお、比較のために交流電圧印加の際のトリーの進展についても示した。

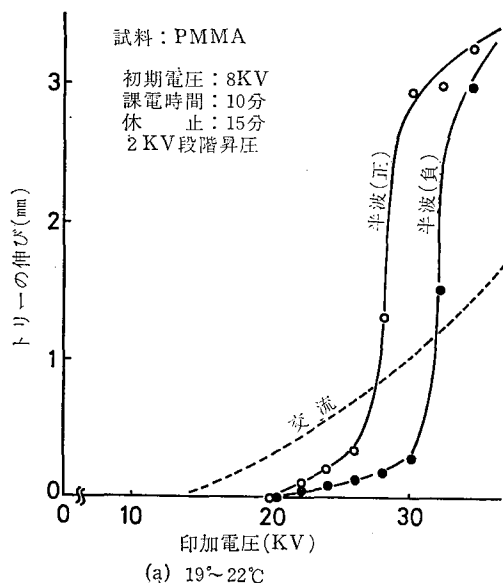
第4図はPE試料を用い、それぞれ-20°C付近、常温、60°Cにおけるトリーの伸びを示してある。また、第5図はPMMA試料の伸びであり、常温、80°Cについて示してある。交流半波電圧の場合は交流電圧と比べてトリー発生電圧は高く、低電圧では進展は緩慢である。電圧が高くなるにつれて進展しやすい傾向である。また、正の交流半波電圧は負の場合よりも進展しやすいことも特徴である。交流に比較して、交



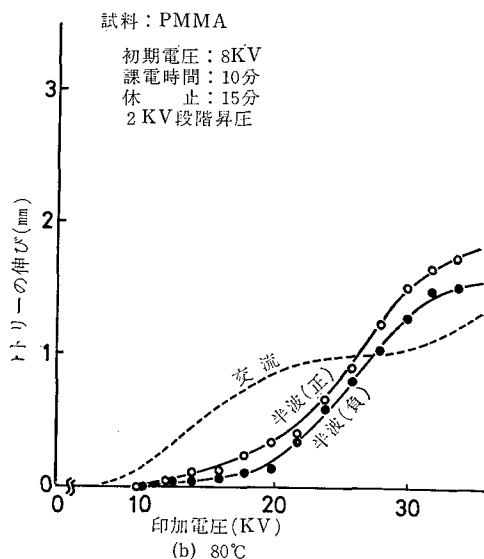


第4図 交流半波電圧（段階昇圧）による PE 中のトリーの伸び

流半波電圧によるトリーが高電圧側で進展しやすい原因の一つとしてはトリー内部の気圧の低下が考えられる。一般にトリー内部の気圧が上昇すると放電が不活発になり、したがってトリーの進展がきまげられると考えられる。交流半波電圧においては、電圧印加と



(a) 19~22°C



第5図 交流半波電圧（段階昇圧）による PMMA 中のトリーの伸び

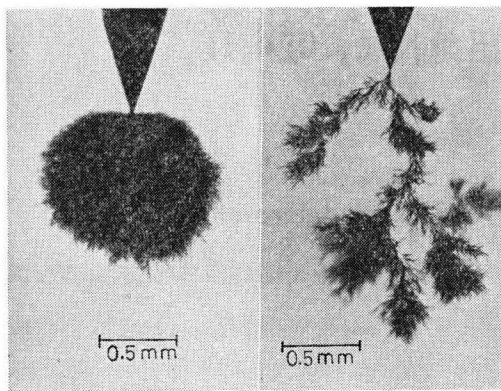
休止が交互になるために発生ガスの漏えい、拡散が容易になり、その結果トリーは進展しやすいものと思われる。また、交流と交流半波電圧とのトリーの伸びを比較してみると、相対的に温度が上昇するほど交流の伸びが大きくなる傾向を示している。高い温度では空間電荷の影響が少なくなるため、単極性である交流半波電界に対する効果が減少するためではないかと思われる。

これらの結果から、トリーの進展に関してはトリー内部の分解ガスによる圧力効果および空間電荷効果の減少などが重要な役割をはたしていることがうかがえる。

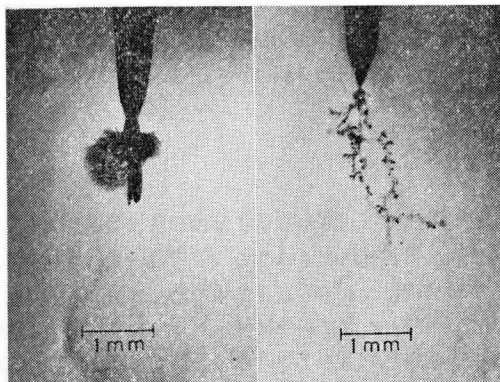
ところで、トリーの進展はその形状と密接に関係しており、一般にはトリー状トリーで進展してゆく場合はかなり急速であるが、ブッシュ状あるいはクラック状トリーに近い形状の場合は緩慢に進展してゆくことがわかる。PE, PMMA におけるトリーの様子の一部を第6図、第7図にそれぞれ示す。PE のトリーは高温になるにつれて進展しやすい傾向であるが、PMMA では80°C よりも常温の方が進展しやすいことがわかる。

4 むすび

筆者らは、PE と PMMA 試料を用いてトリーの発生、進展メカニズムを考察したが、液体窒素温度から120°C 付近までの温度範囲では材料の種類、温度、電



(a) 交流 30kv (b) 交流半波 30kv
第6図 交流と交流半波電圧による PMMA
中のトリーの形状 (21°C)



(a) 交流 30kv (b) 交流半波 30kv
第7図 交流と交流半波電圧による PMMA
中のトリーの形状 (80°C)

圧波形などによりかなり相違していることがわかった。その結果を要約すると次のようである。

(i) トリーの発生 交流半波電圧ではインパルス電圧でみられるような著しい極性差はみられないが、これは課電時間のちがいによるものと思われる。また、交流と交流半波電圧のように課電時間の相当長い場合には、材料自身の挙動に対応してトリー発生電圧は変

化するようであるが、インパルス電圧のような短時間課電ではこの関係は緊密でないようであり、この原因の一つとしては課電時間の影響が考えられる。さらに高温領域では、課電時間が長い波形ほどトリーは発生しやすくなっており、空間電荷効果に加えて熱的要因が支配的となる可能性も考えられる。

(ii) トリーの進展 交流半波電圧の際のトリー進展については極性効果がみられ、正極性の方が一般に進展しやすい。また、交流半波電圧は交流に比較して、印加電圧が高くなるにつれて進展しやすい傾向であるが、これらの相違は分解ガスの圧力効果および空間電荷効果などによるものと考えられる。

以上のように、交流半波電圧を印加し、試料温度を変化させた場合のトリー性状について調査した結果、上記のような定性的な結果を得るにいたった。しかしながら、なお多くの問題を残しており、今後さらに検討してゆく予定である。

終りに、終始ご指導、ご鞭撻を賜っている本学教授山口宗五郎博士、田中庄蔵博士に感謝の意を表します。また、本学絶縁工学研究室の諸氏にお礼申し上げます。

参 考 文 献

- (1) J. H. Mason : Proc. Instn. Elect. Engrs 98, 1, 44 (1951)
- (2) D. W. Kitchn & O. S. Pratt : Trans. Amer. Inst. Elect. Engrs. 77, III, 180 (1958)
- (3) たとえば、工藤他：電気学会論文誌 92-A, 159 (昭47-4)
- (4) B. Dittmer : Arch. Electrotech. III, Heft 6, 387 (1964)
- (5) J. Arthauer : たとえば, J. Polymer Sci. 16, 477 (1967)
- (6) B. Dittmer : Arch. Electrotech. I, Heft 3, 163 (1963)